

## 东南大学自动控制实验室

# 实 验 报 告

课程名称： 自动控制原理

实验名称： 实验一 典型环节的电路模拟

院（系）： 能源与环境学院 专 业： 核工程与核技术

姓 名： 袁明 学 号： 03320708

实 验 室： 常州楼 419 实验组别： 第一组

同组人员： 樊诗雨、何郑宇 实验时间： 2022.10.20

评定成绩：                      审阅教师：

## 目录

一、实验目的 .....	3
二、实验预习 .....	3
三、实验原理 .....	3
四、实验设备与接线图 .....	5
五、实验步骤与实验图像 .....	6
七、实验总结 .....	17

# 实验一 闭环电压控制系统研究

## 一、实验目的

1. 熟悉 THBDC-1 型软件，信号与系统控制理论及计算机控制技术实验平台及上位机软件的使用；
2. 熟悉各典型环节的阶跃响应特性及其电路模拟；
3. 测量各典型环节的阶跃响应曲线，并了解参数变化对其动态特性的影响。

## 二、实验预习

1. 熟悉实验平台上的各部分模拟器件，会使用数字电压表、虚拟示波器；能够利用平台上的运放、电源、电阻、电容等器件搭建各个典型环节的电路。
2. 搭建模拟电路，通过改变典型环节的电路参数（改变电阻大小、电容大小等等），实现对典型环节调节性能的改变，优化电路对阶跃响应的干扰抵抗能力，为动手实验做准备。

## 三、实验原理

自控系统是由比例、积分、微分、惯性等环节按一定的关系组建而成。熟悉这些典型环节的结构及其对阶跃输入的响应，将对系统的设计和分析是十分有益的。

本实验中的典型环节都是以运放为核心元件构成，其原理框图如图 1-1 所示。图中  $Z_1$  和  $Z_2$  表示由 R、C 构成的复数阻抗。

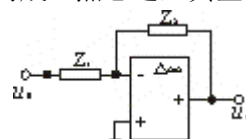


图 1-1

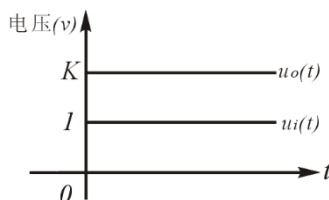
### 1. 比例 (P) 环节

比例环节的特点是输出不失真、不延迟、成比例地复现输出信号的变化。它的传递函数与方框图分别为：

$$G(S) = \frac{U_o(S)}{U_i(S)} = K$$



当  $U_i(S)$  输入端输入一个单位阶跃信号，且比例系数为  $K$  时的响应曲线如图 1-2 所示。



### 2. 积分 (I) 环节

积分环节的输出量与其输入量对时间的积分成正比。它的传递函数与方框图分别为：

$$G(s) = \frac{U_o(S)}{U_i(S)} = \frac{1}{Ts}$$

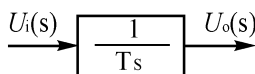


图 1-2

设  $U_i(S)$  为一单位阶跃信号，当积分系数为  $T$  时的响应曲线如图 1-3 所示。

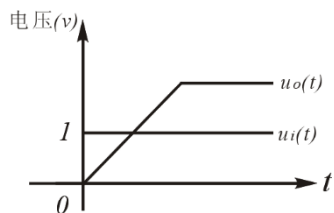


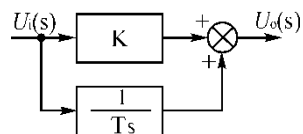
图 1-3

### 3. 比例积分(PI)环节

比例积分环节的传递函数与方框图分别为：

$$G(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{R_2CS + 1}{R_1CS} = \frac{R_2}{R_1} + \frac{1}{R_1CS} = \frac{R_2}{R_1} \left(1 + \frac{1}{R_2CS}\right)$$

其中  $T = R_2C$ ,  $K = R_2/R_1$



设  $U_i(s)$  为一单位阶跃信号，图 1-4 示出了比例系数(K)为 1、积分系数为 T 时的 PI 输出响应曲线。

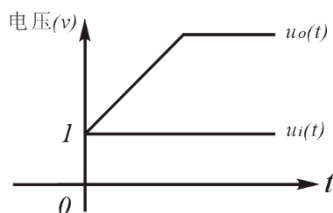
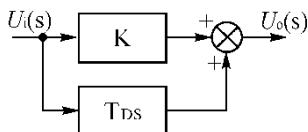


图 1-4

### 4. 比例微分(PD)环节

比例微分环节的传递函数与方框图分别为：

$$G(s) = K(1 + TS) = \frac{R_2}{R_1}(1 + R_1CS) \quad \text{其中 } K = R_2/R_1, T_D = R_1C$$



设  $U_i(s)$  为一单位阶跃信号，图 1-5 示出了比例系数(K)为 2、微分系数为  $T_D$  时 PD 的输出响应曲线。

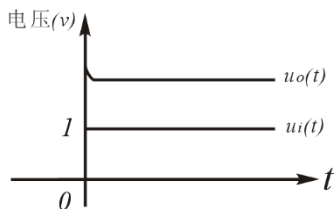


图 1-5

### 5. 惯性环节

惯性环节的传递函数与方框图分别为：

$$G(s) = \frac{U_o(s)}{U_i(s)} = \frac{K}{Ts + 1} \quad \xrightarrow{U_i(s)} \boxed{\frac{K}{Ts + 1}} \xrightarrow{U_o(s)}$$

当  $U_i(s)$  输入端输入一个单位阶跃信号，且放大系数(K)为 1、时间常数为 T 时响应曲线如图 1-7 所示。

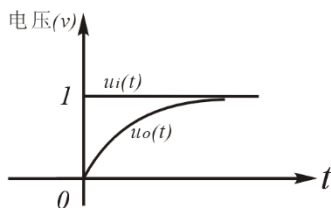
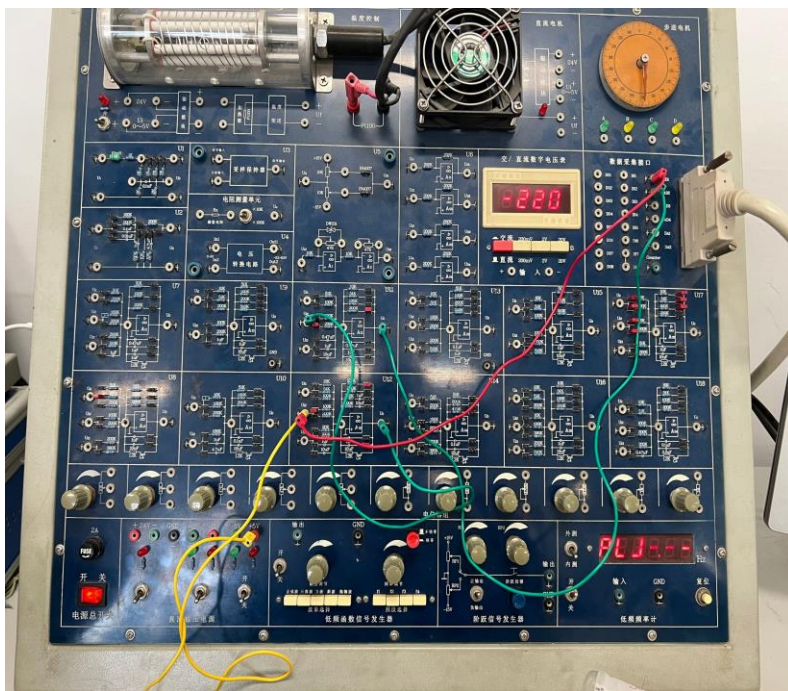


图 1-7

#### 四、实验设备与接线图

THBDC-1 实验平台



实验装置图

图 1 闭环电压控制系统实验接线图

开环实验原理图

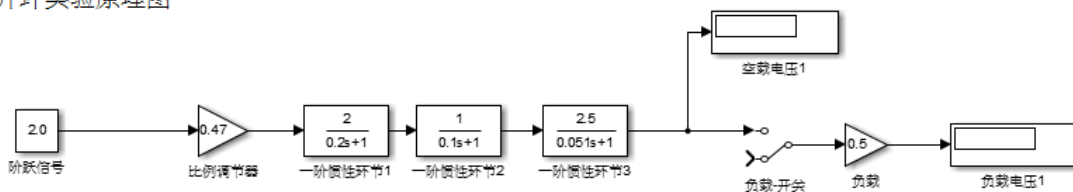


图 2\_1 比例环节+开环控制系统

闭环实验原理图

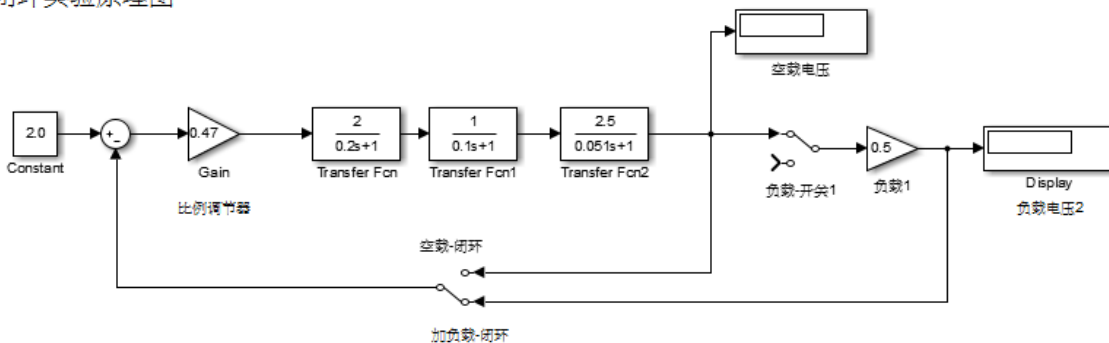


图 2\_2 比例环节+闭环负反馈系统

闭环+积分实验原理图

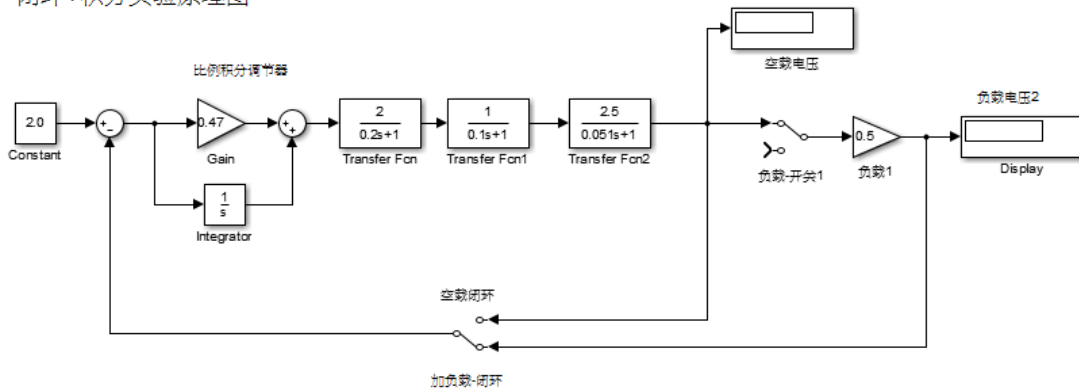
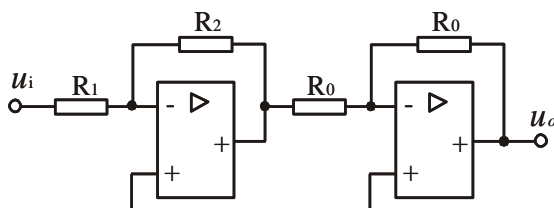


图 2\_3 比例积分环节+闭环负反馈系统

## 五、实验步骤与实验图像

### 1. 比例 (P) 环节

根据比例环节的方框图，选择实验台上的通用电路单元设计并组建相应的模拟电路，如下图所示。



图中后一个单元为反相器，其中  $R_0=200K$ ，也可取  $R_0=100K$ ；加入反相器的目的是改变输出电压的极性。

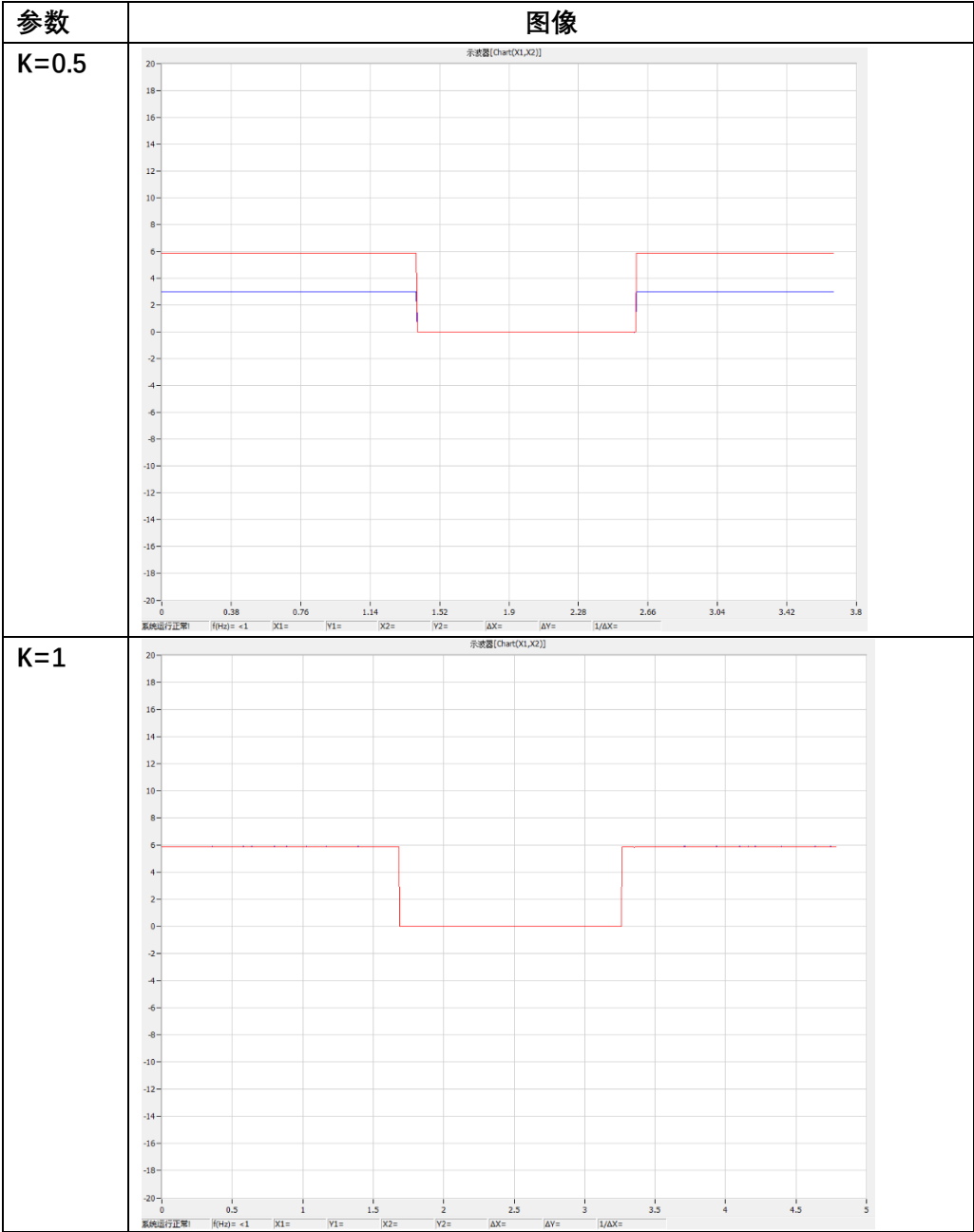
若比例系数  $K=0.5$  时，电路中的参数取： $R_1=100K$ ， $R_2=50K$ 。

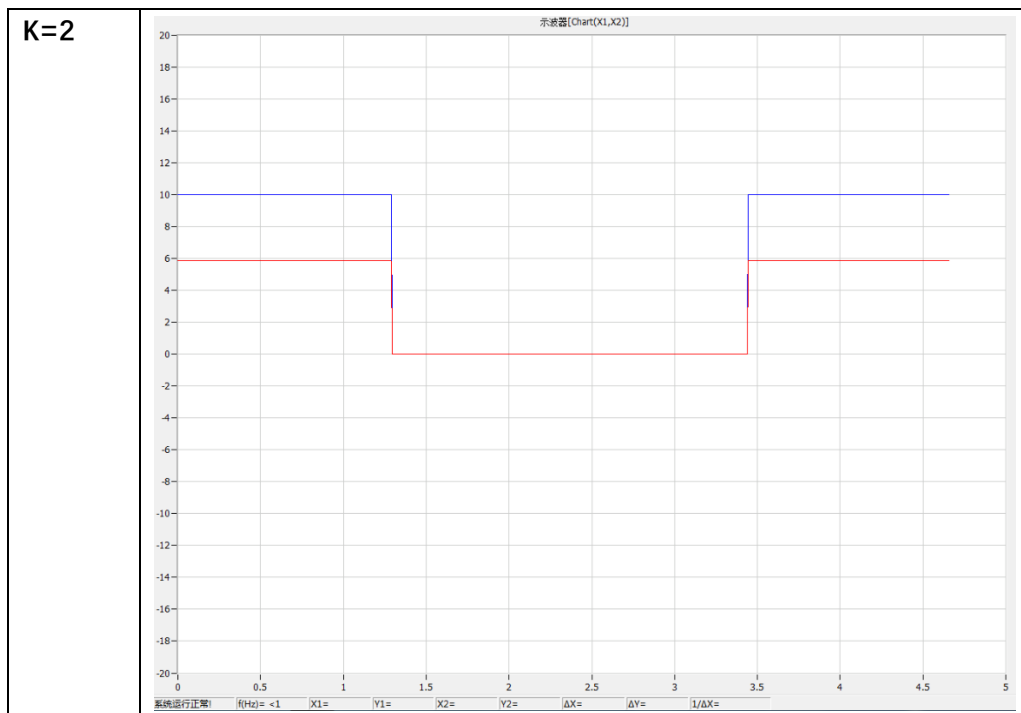
若比例系数  $K=1$  时，电路中的参数取： $R_1=100K$ ， $R_2=100K$ 。

若比例系数  $K=2$  时，电路中的参数取： $R_1=100K$ ， $R_2=200K$ 。

当  $u_i$  为一单位阶跃信号时，用上位软件观测(选择“通道 1-2”，其中通道 AD1 接电路的输出  $u_o$ ；通道 AD2 接电路的输入  $u_i$ )并记录相应  $K$  值时的实验曲线，并与理论值进行比较。

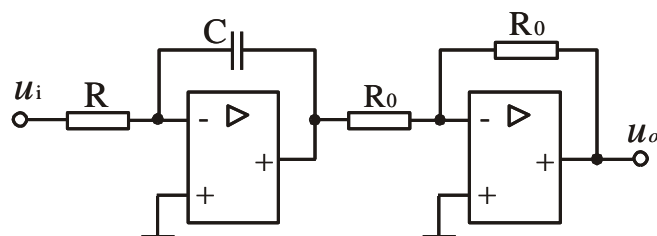
另外  $R_2$  还可使用可变电位器，以实现比例系数为任意设定值。





## 2. 积分 (I) 环节

根据积分环节的方框图，选择实验台上的通用电路单元设计并组建相应的模拟电路，如下图所示。



图中后一个单元为反相器，其中  $R_0=200K$ 。

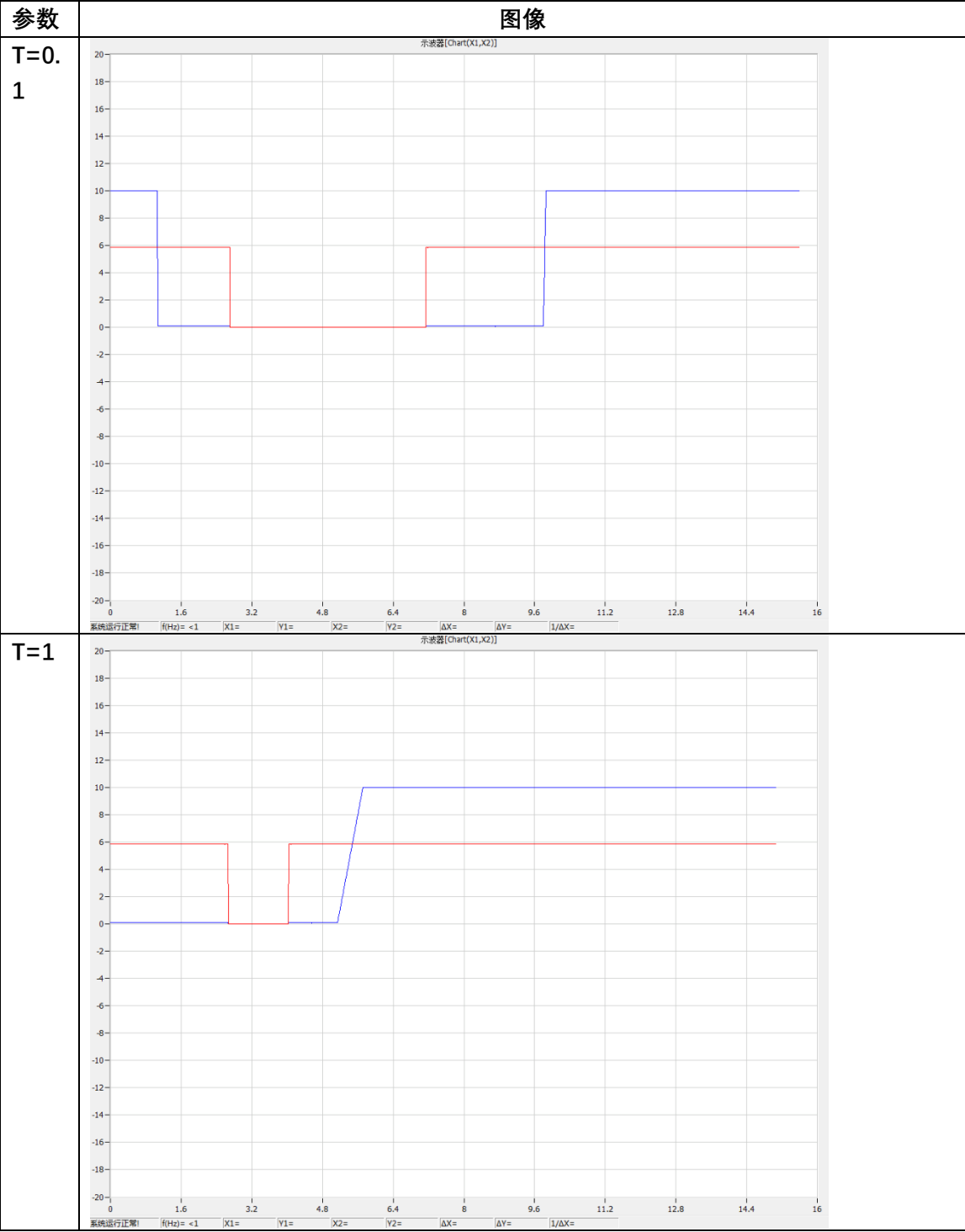
若积分时间常数  $T=2S$  时，电路中的参数取：  $R=200K$ ，  $C=10\mu F$  ( $T=RC=200K \times 10\mu F=1$ )；

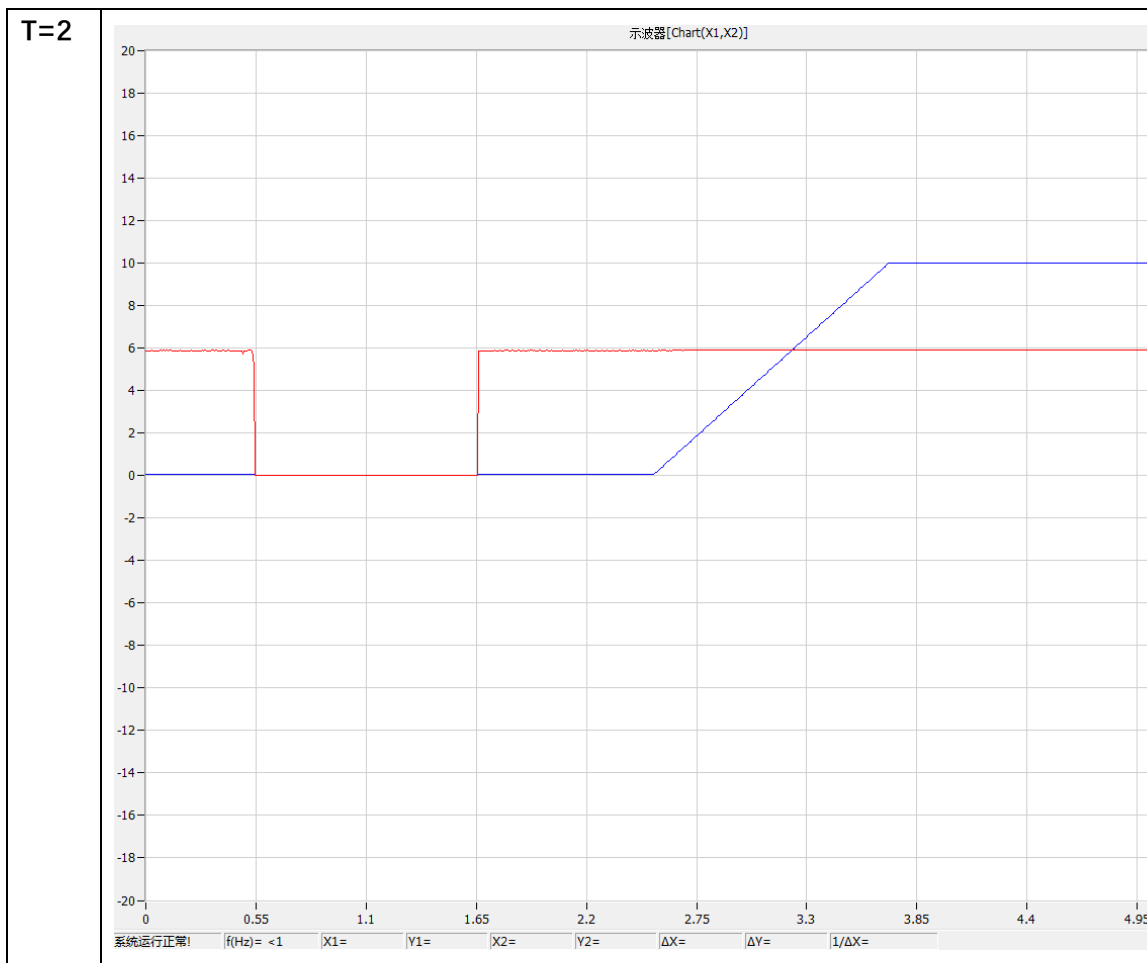
若积分时间常数  $T=1S$  时，电路中的参数取：  $R=100K$ ，  $C=10\mu F$  ( $T=RC=100K \times 10\mu F=1$ )；

若积分时间常数  $T=0.1S$  时，电路中的参数取：  $R=100K$ ，  $C=1\mu F$  ( $T=RC=100K \times 1\mu F=0.1$ )；

当  $u_i$  为一单位阶跃信号时，用上位机软件观测并记录相应  $T$  值时的输出响应曲线，并与理论值进行比较。

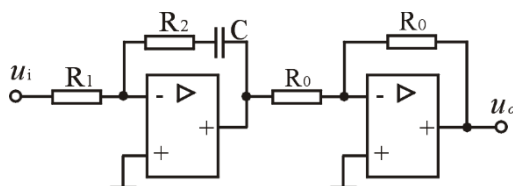






### 3. 比例积分(PI)环节

根据比例积分环节的方框图，选择实验台上的通用电路单元设计并组建相应的模拟电路，如下图所示。



图中后一个单元为反相器，其中  $R_0=200K$ 。

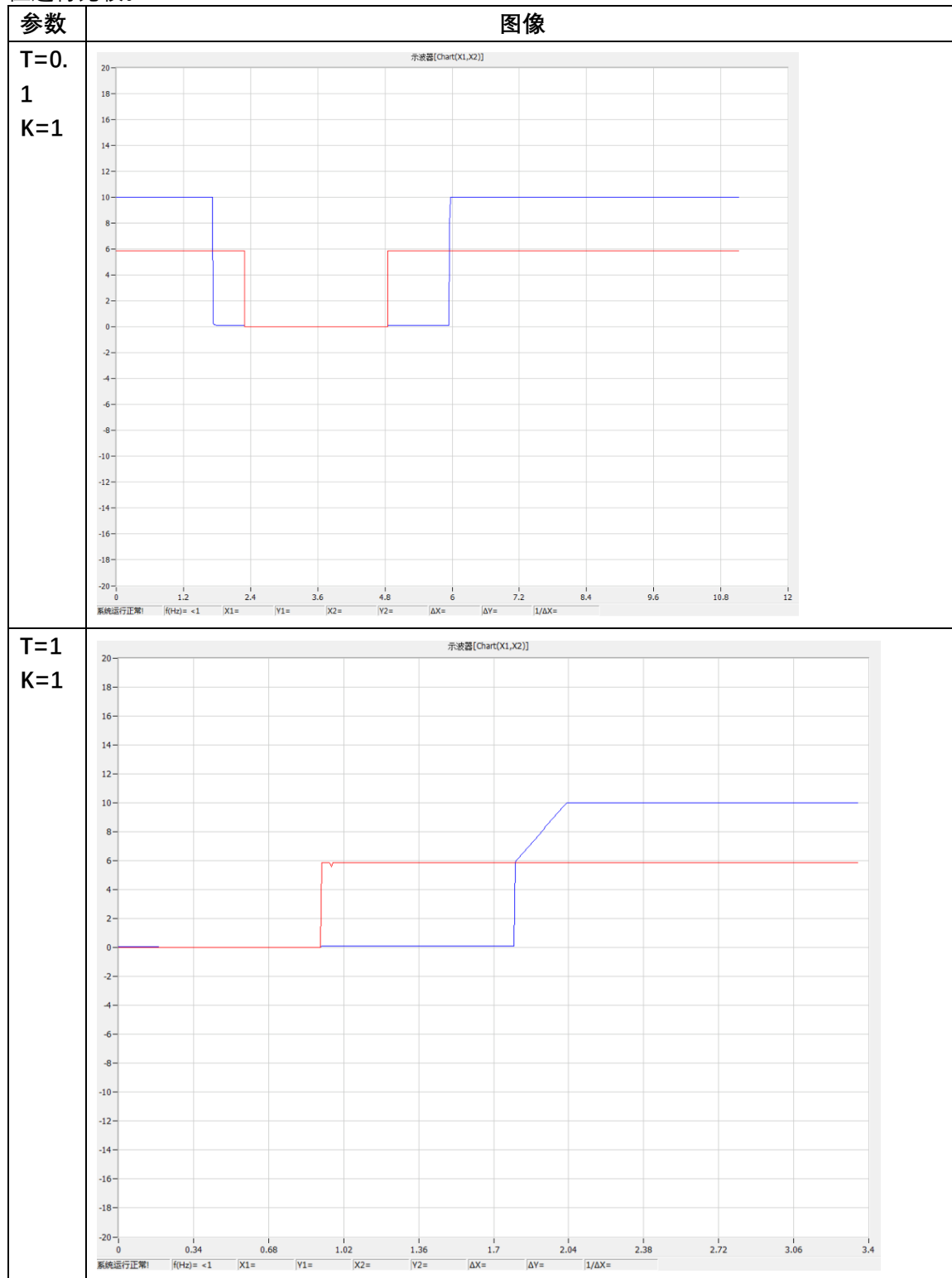
若取比例系数  $K=1$ 、积分时间常数  $T=1S$  时，电路中的参数取： $R_1=100K$ ， $R_2=100K$ ， $C=10\mu F$  ( $K=R_2/R_1=1, T=R_1C=100K \times 10\mu F=1$ )；

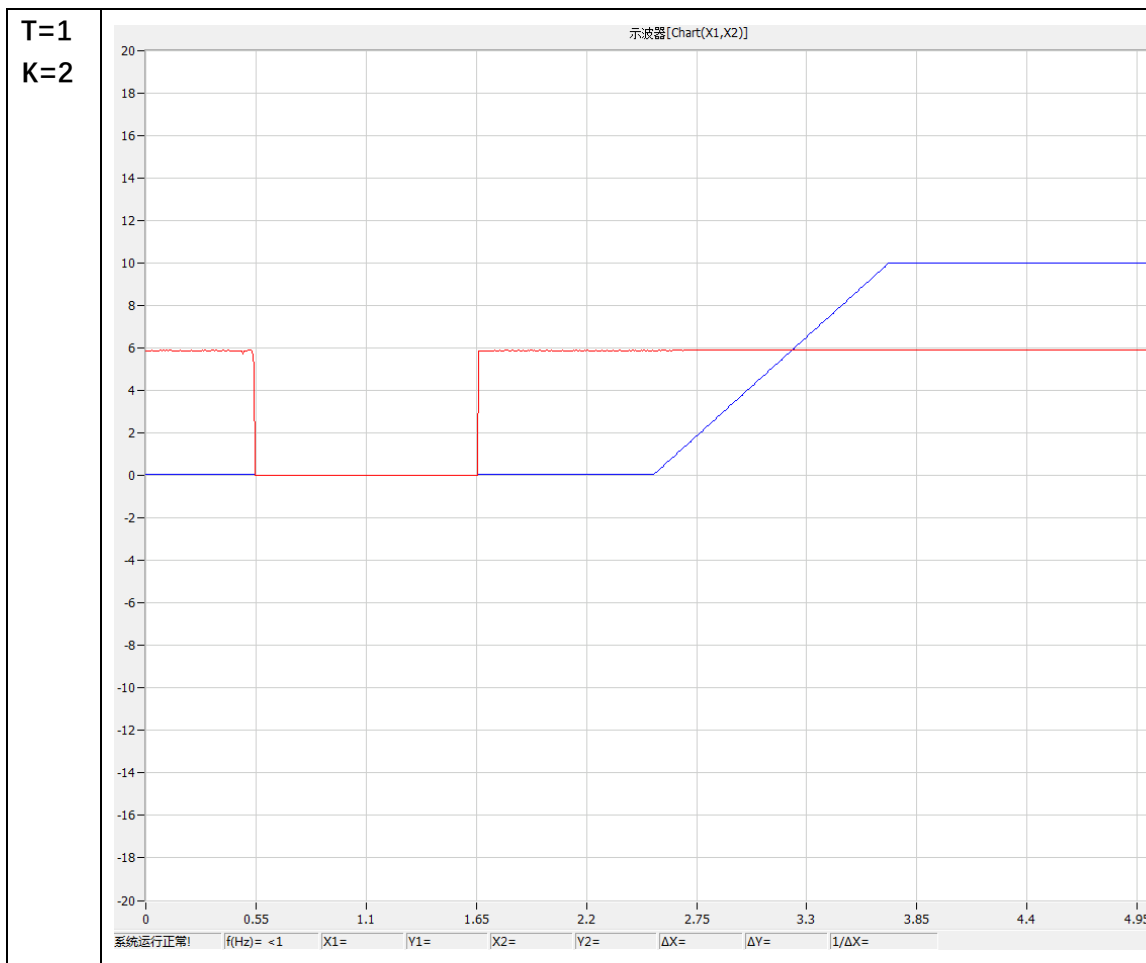
若取比例系数  $K=1$ 、积分时间常数  $T=0.1S$  时，电路中的参数取： $R_1=100K$ ， $R_2=100K$ ， $C=1\mu F$  ( $K=R_2/R_1=1, T=R_1C=100K \times 1\mu F=0.1^s$ )。

若取比例系数  $K=2$ 、积分时间常数  $T=1S$  时，电路中的参数取： $R_1=100K$ ， $R_2=200K$ ， $C=10\mu F$  ( $K=R_2/R_1=2, T=R_1C=100K \times 10\mu F=1$ )。

通过改变  $R_2$ 、 $R_1$ 、 $C$  的值可改变比例积分环节的放大系数  $K$  和积分时间常数  $T$ 。

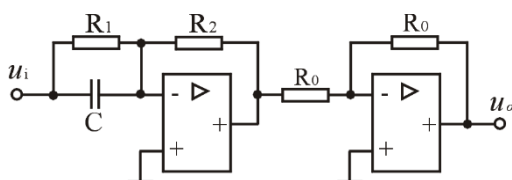
当  $u_i$  为一单位阶跃信号时，用上位软件观测并记录不同  $K$  及  $T$  值时的实验曲线，并与理论值进行比较。





#### 4. 比例微分(PD)环节

根据比例微分环节的方框图，选择实验台上的通用电路单元设计并组建其模拟电路，如下图所示。



图中后一个单元为反相器，其中  $R_0=200K$ 。

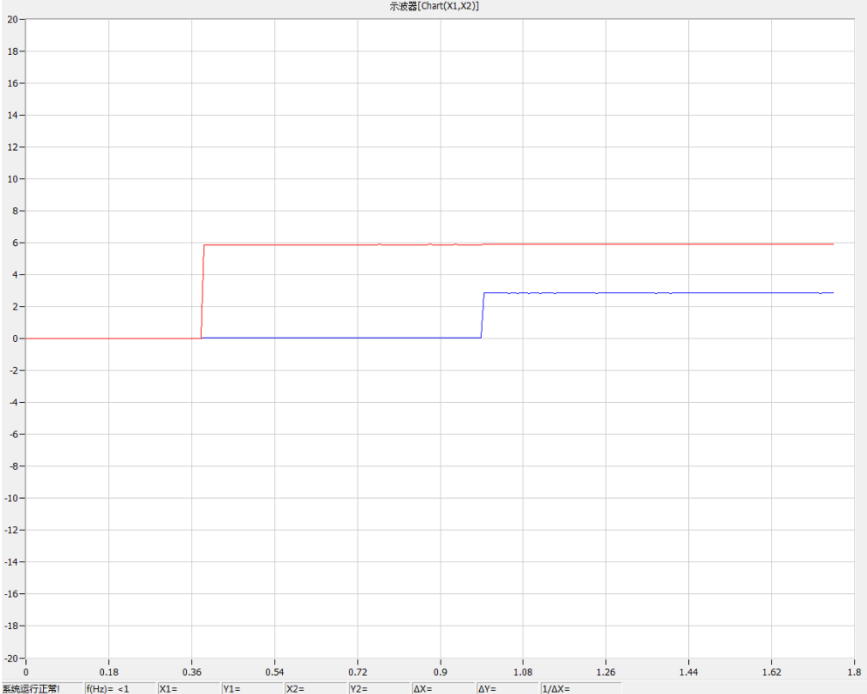
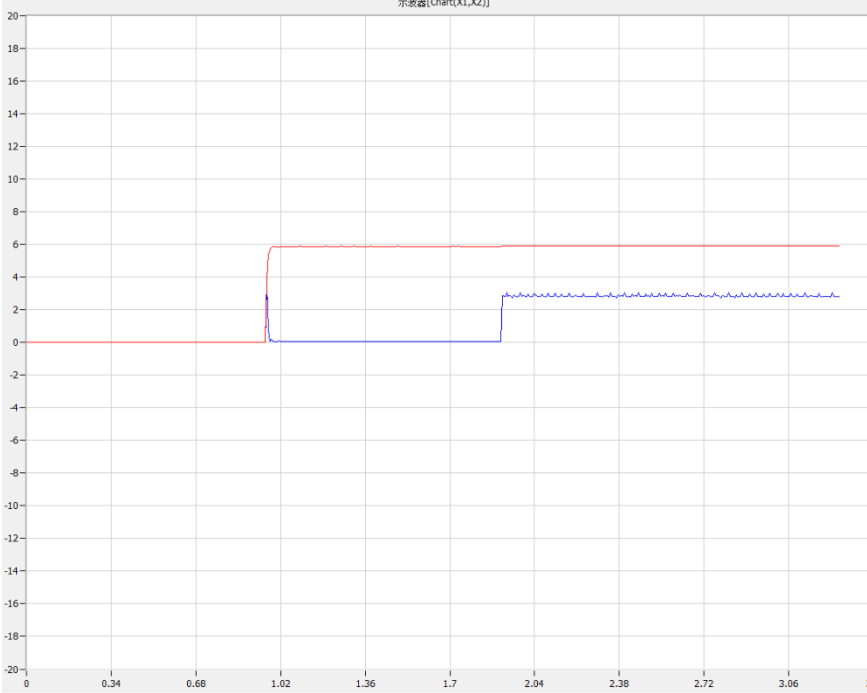
若比例系数  $K=1$ 、微分时间常数  $T=1S$  时，电路中的参数取： $R_1=100K$ ， $R_2=100K$ ， $C=10\mu F$  ( $K=R_2/R_1=1$ ,  $T=R_1C=100K \times 10\mu F=1S$ )；

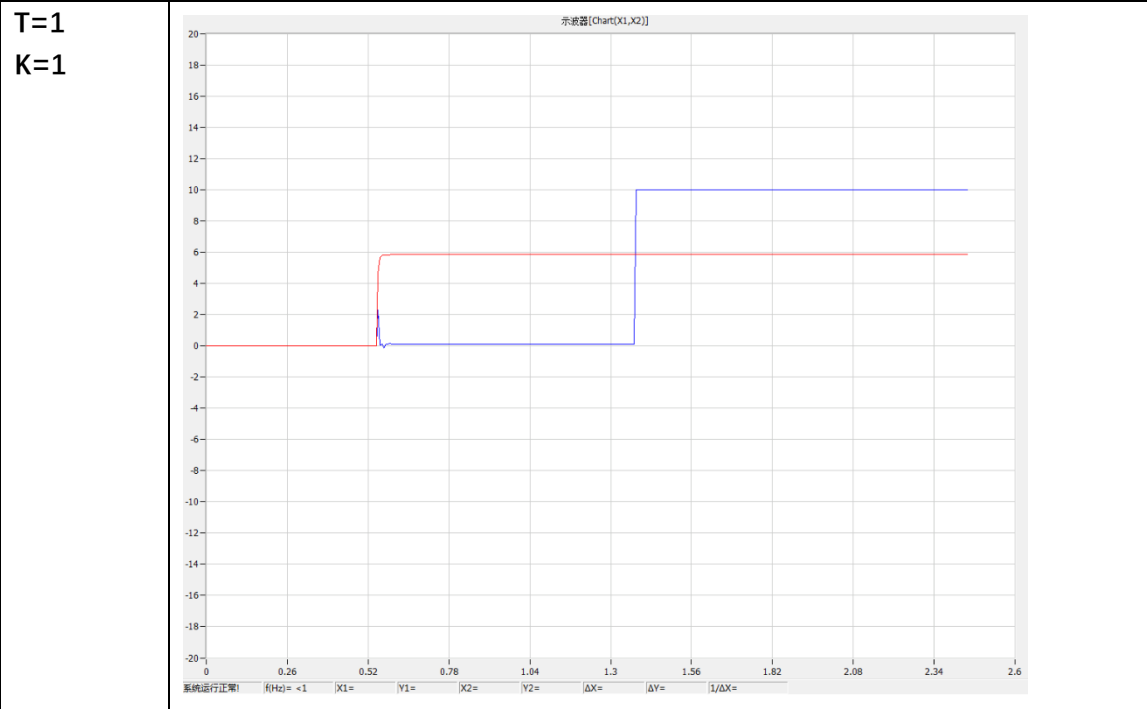
若比例系数  $K=0.5$ 、微分时间常数  $T=2S$  时，电路中的参数取： $R_1=200K$ ， $R_2=100K$ ， $C=10\mu F$  ( $K=R_2/R_1=0.5$ ,  $T=R_1C=200K \times 10\mu F=2S$ )；

若比例系数  $K=0.5$ 、微分时间常数  $T=1S$  时，电路中的参数取： $R_1=100K$ ， $R_2=50K$ ， $C=10\mu F$  ( $K=R_2/R_1=0.5$ ,  $T=R_1C=100K \times 10\mu F=1S$ )；

当  $u_i$  为一单位阶跃信号时，用上位软件观测并记录不同  $K$  及  $T$  值时的实验曲线，并与理论值进行比较。

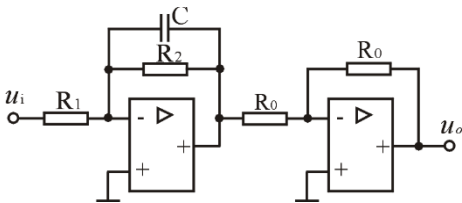
注：本实验中的  $10\mu\text{F}$  电容需从实验台左面板“通用单元电路五”中连接。

参数	图像
<b>T=1</b> <b>K=0.5</b>	 <p>示波器[Chart(X1,X2)]</p> <p>系统运行正常! f(Hz)= &lt;1 X1= Y1= X2= Y2= ΔX= ΔY= 1/ΔX=</p>
<b>T=2</b> <b>K=0.5</b>	 <p>示波器[Chart(X1,X2)]</p> <p>系统运行正常! f(Hz)= &lt;1 X1= Y1= X2= Y2= ΔX= ΔY= 1/ΔX=</p>



5. 惯性环节

根据惯性环节的方框图，选择实验台上的通用电路单元设计并组建其相应的模拟电路，如下图所示。



图中后一个单元为反相器，其中  $R_0=200K$ 。

若比例系数  $K=1$ 、时间常数  $T=1S$  时，电路中的参数取： $R_1=100K$ ， $R_2=100K$ ， $C=10\mu F(K=R_2/R_1=1,T=R_2C=100K\times 10\mu F=1)$ 。

若比例系数  $K=1$ 、时间常数  $T=2S$  时，电路中的参数取： $R_1=100K$ ， $R_2=200K$ ， $C=10\mu F(K=R_2/R_1=2,T=R_2C=200K\times 10\mu F=2)$ 。

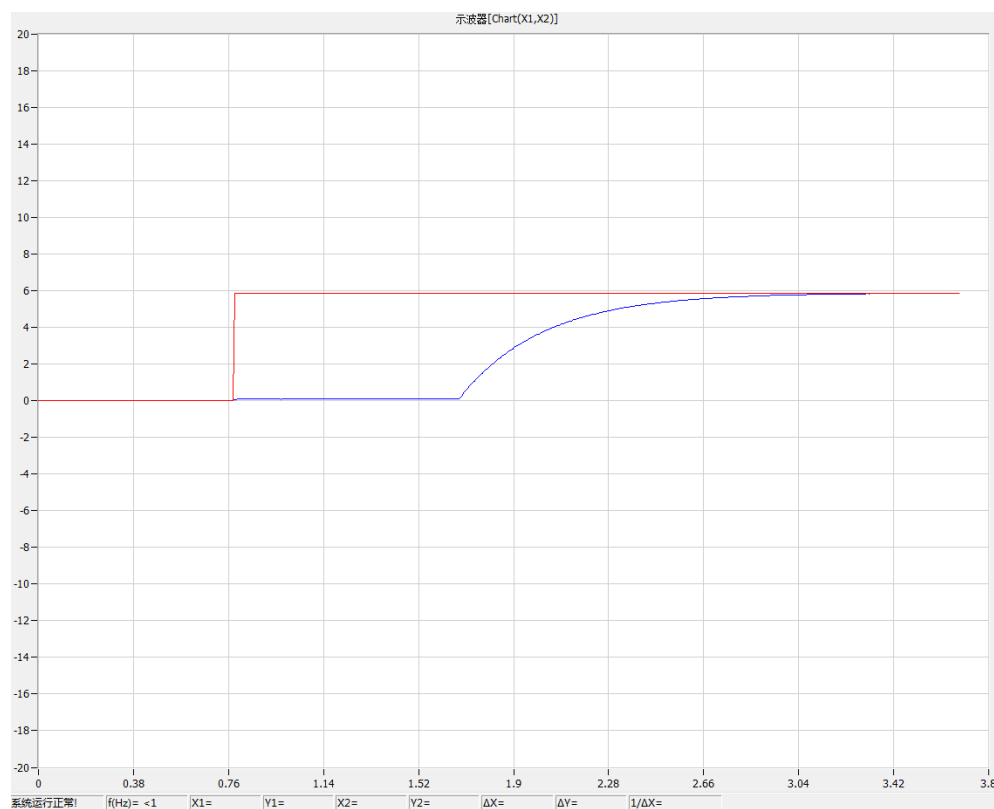
若比例系数  $K=1$ 、时间常数  $T=2S$  时，电路中的参数取： $R_1=100K$ ， $R_2=200K$ ， $C=10\mu F(K=R_2/R_1=2,T=R_2C=200K\times 10\mu F=2)$ 。

通过改变  $R_2$ 、 $R_1$ 、 $C$  的值可改变惯性环节的放大系数  $K$  和时间常数  $T$ 。

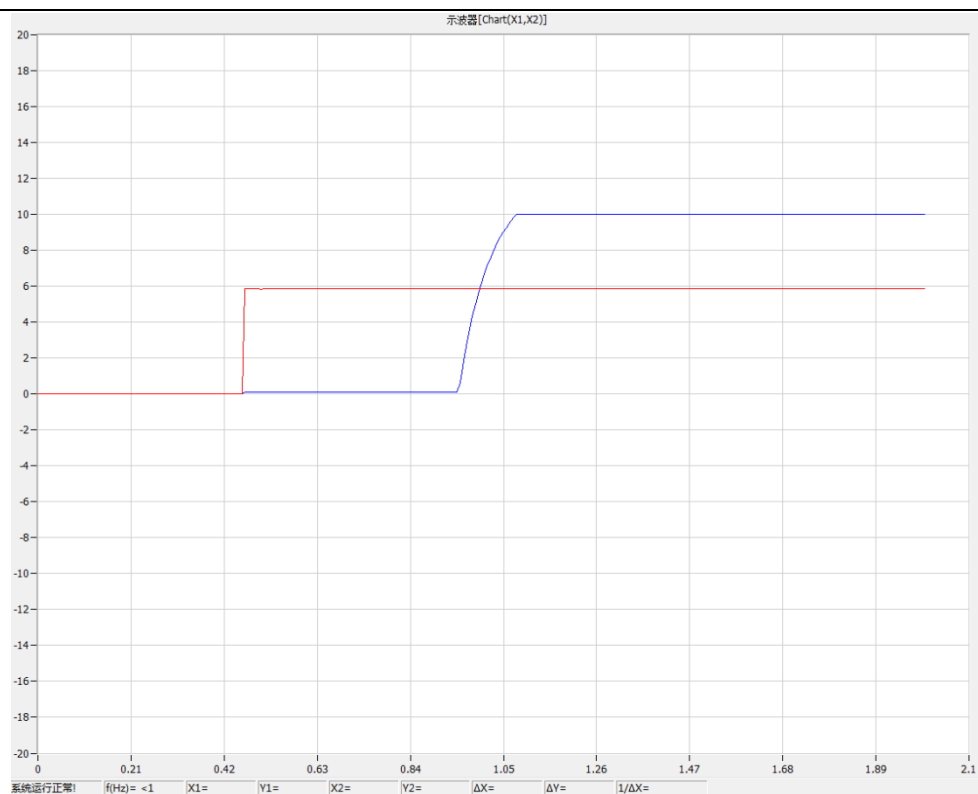
当  $u_i$  为一单位阶跃信号时，用上位软件观测并记录不同  $K$  及  $T$  值时的实验曲线，并与理论值进行比较。

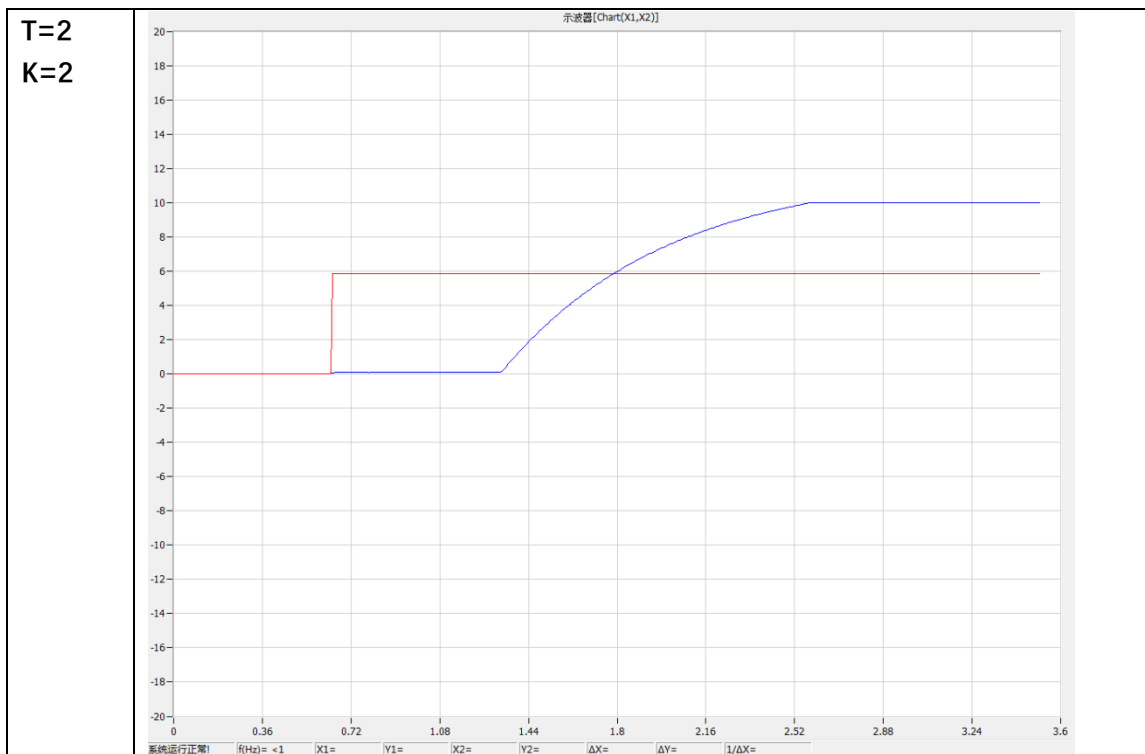
参数	图像
----	----

T=1  
K=1



T=1  
K=2





## 六、实验结果与分析

1. 用运放模拟典型环节时，其传递函数是在什么假设条件下近似导出的？

答：运放为理想运放，且电路为理想电路。

2. 积分环节和惯性环节主要差别是什么？在什么条件下，惯性环节可以近似地视为积分环节？而又在什么条件下，惯性环节可以近似地视为比例环节？

答：积分环节为无差调节，在有误差的情况下可能会一直振荡下去，而惯性环节则是收敛的，最终会稳定在一个确定的值附近。在比例调节基本可以忽略的情况下，比如比例系数非常小。在积分环节基本可以忽略的情况下，比如时间常数特别大接近无穷时。

3. 在积分环节和惯性环节实验中，如何根据单位阶跃响应曲线的波形，确定积分环节和惯性环节的时间常数？

答：有切线法、两点法和面积法。

4. 为什么实验中实际曲线与理论曲线有一定误差？

答：因为首先元件不是理想元件，在调节时会有一定的误差，其次阶跃信号不稳定，带有微小的噪声，导致曲线总是在某个范围内振荡，还有 PID 参数整定的不理想，于是导致了实际曲线与理想曲线的误差。

5. 为什么 PD 实验在稳定状态时曲线有小范围的振荡？

答：PD 控制器具有预判误差的作用，当系统有出现误差的趋势时，PD 调节器便起作用进行调节，但由于参数设置的不理想与系统的固有误差，导致在稳定状态时曲线有



小范围内的振荡。

## 七、实验总结

通过本次实验，我熟悉了 THBDC-1 型软件，信号与系统控制理论及计算机控制技术实验平台及上位机软件的使用，并且熟悉了各典型环节的阶跃响应特性及其电路模拟，通过调整参数并测量各典型环节的阶跃响应曲线，了解了参数变化对其动态特性的影响。总之，本次实验让我对自动控制有了更深刻的认识，并且锻炼了自己的动手实践能力，我感到收获良多。